

Оценка роста коммутационного ресурса вакуумных
выключателей при синхронном отключении

А.А. Гилёв, к.т.н., доц., В.Н. Данилов, инж., В.С. Миронов, асп.

Севастопольский национальный технический университет

В настоящее время в силовых электрических цепях среднего напряжения широкое распространение получили вакуумные выключатели, обладающие целым рядом преимуществ перед другими типами коммутационных аппаратов.

Долговечность вакуумного выключателя обусловлена коммутационным ресурсом вакуумной камеры, который составляет $10^4 \dots 5 \cdot 10^4$ циклов включения – отключения для номинальных токов. Однако с ростом амплитуды отключаемого тока в тяжелых и аварийных режимах ресурс камеры и всего аппарата резко снижается и при номинально отключаемых токах составляет 25 ... 50 рабочих циклов. Проблема увеличения коммутационного ресурса может быть решена применением синхронной коммутации, т.е. включением вблизи нуля сетевого напряжения и отключением вблизи нуля тока.

При этом возникает проблема численной оценки роста коммутационного ресурса выключателя при синхронном отключении в сравнении с обычной коммутацией.

В качестве обобщенного показателя эрозионного износа контактов используем удельный износ контактов

$$\alpha_1 = \frac{\Delta h_{\text{доп}} \times S \times \rho}{I \times N_{\text{ном}}},$$

где α_1 - удельный износ контактов, $\text{г}/(\text{кА} \times \text{цикл ВО})$ при несинхронном отключении;

$\Delta h_{\text{доп}}$ – предельно допустимое значение линейного износа контактов ВДК, см;

S - площадь поверхности контактирования, см^2 ;

ρ – плотность контактного материала $\text{г}/\text{см}^3$;

I – действующее значение тока, при котором проводилось отключение, кА;

$N_{\text{ном}}$ – номинальный коммутационный ресурс камеры, число циклов ВО.

При токах выше 5 кА была получена математическая модель с использо-

ванием полинома вида:

$$\alpha_2(I) = 0,0299439 + 0,231797 \times I_2 - 0,0102795 \times I_3 + 6,002515 \times 10^{-6} \times I_5 - 7,2664018 \times 10^{-8} \times I_6$$

При $f = 50$ Гц и справедливости гипотезы о равномерном распределении момента начала расхождения контактов, а также допущении, что дуга гаснет при первом прохождении тока через ноль, величина Δt будет равна 5 мс, где Δt - математическое ожидание времени начала движения контактов относительно ближайшего нуля отключаемого тока.

Для оценки коммутационного ресурса синхронных выключателей следует учесть, что момент начала расхождения контактов в этом случае строго фиксирован и составляет от 0,5...2 мс, в зависимости от быстродействия привода и допустимой скорости перемещения подвижного контакта ВДК. Это время обозначим $t_{упр}$. Оно всегда меньше Δt и, значит, меньше термическое воздействие дуги на контакты камеры. Введём коэффициент

$$k_m = \frac{\Delta t}{t_{упр}}$$

Для синхронного отключения получим формулу коммутационного ресурса

$$N_{синхр} = 2 \times \frac{N_{ном} \times \alpha_1}{\alpha_2} \times k_m$$

Коэффициент 2 учитывает отсутствие эрозионного износа контактов при синхронном включении аппарата, поскольку повсюду принимается равенство эрозии контактов при включении и выключении.

Коэффициент роста коммутационного ресурса представляет собой отношение

$$k_{синхр} = \frac{N_{синхр}}{N_{ном}}$$

и интересующая зависимость в общем виде получит выражение

$$k_{синхр} = f(t_{упр}, I_{откл}).$$

Понятно, что для каждого типа аппаратов $N_{ном}$ будет различным, как и различной будет зависимость $N_{ном} = f(I_{откл})$. Но в относительных единицах можно дать общую картину увеличения коммутационного ресурса в функции указанных величин.

Итак

$$k_{синхр} = \frac{N_{синхр}}{N_{ном}} = \frac{2\alpha_1}{\alpha_2} \times k_m$$

При промышленной частоте $f=50\text{Гц}$

$$k_m = \frac{\Delta t}{t_{упр}} = \frac{5}{t_{упр}},$$

где 5 – математическое ожидание момента движения контактов выключателей при несинхронной коммутации.

В более широком диапазоне отключаемых токов

$$k_{синхр} = 2 \times \frac{\alpha_1(I)5}{\alpha_2(I \sin \psi) t_{упр}} = \frac{10\alpha_1(I)}{\alpha_2(I \sin(18^\circ \times t_{упр})) t_{упр}}.$$

Данное выражение позволяет аналитически оценить увеличение коммутационного ресурса аппарата при применении синхронного отключения вместо несинхронного.